

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Одеський національний технологічний університет

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Експериментальна теплофізика

Обов'язкова навчальна дисципліна

Мова навчання – українська

Освітньо-професійна програма Теплоенергетика та енергоефективні технології

Код та найменування спеціальності 144 Теплоенергетика

Шифр та найменування галузі знань 14 Електрична інженерія

Ступінь вищої освіти магістр

Розглянуто, схвалено та затверджено
Методичною радою університету

РОЗРОБЛЕНО ТА ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ: кафедрою екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології Одеського національного технологічного університету

РОЗРОБНИКИ: професор кафедри ЕТтаПЕ, д.т.н., професор, Железний В.П. професор кафедри ЕТтаПЕ, д.т.н., професор, Семенюк Ю.В. ст.викладач кафедри ЕТтаПЕ, к.т.н., Івченко Д.О.

Розглянуто та схвалено на засіданні кафедри екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології

Протокол від «09» серпня 2022 р. №1

Завідувач кафедри

ПІДПИСАНО

Юрій СЕМЕНЮК

Розглянуто та схвалено методичною радою зі спеціальності 144 «Теплоенергетика» галузі знань 14 «Електрична інженерія»

Голова ради

ПІДПИСАНО

Олександр ТІТЛОВ

Гарант освітньої програми

ПІДПИСАНО

Борис КОСОЙ

Розглянуто та схвалено Методичною радою університету

Протокол від «22» вересня 2022 р. №1

Секретар Методичної ради
університету

ПІДПИСАНО

Валерій МУРАХОВСЬКИЙ

ЗМІСТ

1	Пояснювальна записка.....	4
1.1	Мета та завдання навчальної дисципліни	4
1.2	Компетентності, які може отримати здобувач вищої освіти.....	4
1.3	Міждисциплінарні зв'язки.....	6
1.4	Обсяг навчальної дисципліни в кредитах ЄКТС.....	7
2	Зміст дисципліни:.....	7
2.1	Програма змістових модулів.....	7
2.2	Перелік лабораторних робіт.....	9
2.3	Перелік завдань до самостійної роботи.....	9
3	Критерії оцінювання результатів навчання.....	10
4	Інформаційне забезпечення.....	10

1. Пояснювальна записка

1.1. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Експериментальна теплофізика» є: вивчення експериментальних методів визначення теплофізичних властивостей речовин, а саме – теоретичних засад цих методів та практичних способів і засобів їхньої реалізації.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Експериментальна теплофізика» є :

підготовка студентів до наукової діяльності експериментального характеру; прищеплення навичок самостійного розв'язання задач з вивчення теплофізичних властивостей речовин для подальшого використання в НДРС, курсовому й дипломному проектуванні.

В результаті вивчення курсу «Експериментальна теплофізика» студенти повинні:

знати :

- методологічні основи і світоглядну спрямованість дисципліни;
- експериментальні методи дослідження теплофізичних властивостей речовин;
- вимірювальну техніку;
- способи обробки отриманої емпіричної інформації;

вміти :

- проектувати експериментальні установки для дослідження теплофізичних властивостей речовин;
- проводити експериментальні дослідження теплофізичних властивостей речовин;
- застосовувати сучасні технічні засоби виміру основних теплофізичних параметрів;
- використовувати сучасні методи статистичного аналізу результатів дослідження;
- використовувати сучасні методи та комп'ютерні засоби при обробці дослідних даних.

1.2. Компетентності, які може отримати здобувач вищої освіти

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Експериментальна теплофізика» здобувач вищої освіти отримує наступні програмні компетентності та програмні результати навчання, які визначені в [Стандарті вищої освіти зі спеціальності 144 Теплоенергетика](#) та [освітньо-професійній програмі «Теплоенергетика і енергоефективні технології»](#) підготовки магістрів.

Загальні компетентності:

ЗК-1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК-3. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

ЗК-4. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності)

ЗК-5. Здатність діяти соціально відповідально та свідомо.

ЗК-6. Здатність виявляти ініціативу та підприємливість.

ЗК-7. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

СК-1. Здатність застосовувати та удосконалювати математичні та комп'ютерні моделі, наукові і технічні методи та сучасне комп'ютерне програмне забезпечення для розв'язання складних інженерних задач в теплоенергетиці.

СК-2. Здатність аналізувати та комплексно інтегрувати сучасні знання з природничих, інженерних, суспільно-економічних та інших наук для розв'язання складних задач і проблем теплоенергетики.

СК-3. Здатність застосовувати релевантні математичні методи для розв'язання складних задач в теплоенергетиці.

СК-4. Здатність управляти робочими процесами та приймати ефективні рішення у сфері теплоенергетики, беручи до уваги соціальні, економічні, комерційні, правові, та екологічні аспекти.

СК-5. Здатність розробляти, реалізовувати, впроваджувати і супроводжувати проекти з урахуванням всіх аспектів проблеми, яка вирішується, включаючи стали проектування, виробництва, експлуатації, технічного обслуговування та утилізації теплоенергетичного обладнання.

СК-6. Здатність приймати рішення щодо матеріалів, обладнання, процесів в теплоенергетиці з урахуванням їх властивостей характеристик.

СК-7. Здатність здійснювати інноваційну діяльність в теплоенергетиці.

СК-9. Здатність оцінювати небезпеки при виконанні робіт у галузі теплоенергетики, оцінювати надійність роботи обладнання та систем.

СК-11. Здатність застосовувати методи планування експериментальних досліджень, проводити їх за допомогою обчислювальної техніки, оцінювати адекватність результатів досліджень.

СК-12. Здатність планування інноваційної діяльності з метою розвитку нових знань та процедур.

СК-13. Здатність критичного осмислення проблем у галузі та на межі галузей знань.

Програмні результати навчання:

ТРН-1. Аналізувати, застосовувати та створювати складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до обраного напрямку теплоенергетики.

ТРН-2. Аналізувати і обирати ефективні аналітичні, розрахункові та експериментальні методи розв'язання складних задач теплоенергетики.

ПРН-3. Розробляти і реалізовувати проекти у сфері теплосенергетики з урахуванням цілей, прогнозів, обмежень та ризиків і беручи до уваги технологічні, законодавчі, соціальні, економічні, екологічні та інші аспекти.

ПРН-4. Відшукувати необхідну інформацію з різних джерел оцінювати, обробляти та аналізувати цю інформацію.

ПРН-5. Розробляти і досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів теплоенергетики, перевіряти адекватність моделей, порівнювати результати моделювання з іншими даними та оцінювати їх точність і надійність.

ПРН-6. Приймати ефективні рішення, використовуючи сучасні методи та інструменти порівняння альтернатив, оцінювання ризиків та прогнозування.

ПРН-7. Зіяти, розуміти і застосовувати у практичній діяльності ключові концепції, сучасні знання та кращі практики в теплоенергетичній галузі, технології виробництва, передачі, розподілу і використання енергії.

ПРН-8. Обґрунтовувати вибір та застосовування матеріалів, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів з урахуванням їх характеристик і властивостей, вимог до кінцевого продукту, а також нетехнічних аспектів.

ПРН-14. Планувати і реалізовувати заходи з підвищення енергоефективності теплоенергетичних об'єктів і систем з урахуванням наявних обмежень, включаючи ті, що пов'язані з проблемами охорони природи, сталого розвитку, здоров'я і безпеки та оцінками ризиків в теплоенергетиці, оцінювати ефективність таких заходів.

ПРН-15. Розуміння професійних і етичних стандартів діяльності, застосування їх під час діяльності у сфері теплоенергетики.

ПРН-16. Аналізувати і оцінювати проблеми тепле знергетики, пов'язані із розвитком нових технологій, науки, суспільства та економіки.

ПРН-18. Аналізувати теплотехнічні процеси та установки з формулюванням обґрунтованих висновків і оцінок, а також застосовувати отримані результати до ситуацій і проблем.

ПРН-19. Розуміння завдань міждисциплінарної інтеграції в напрямку взаємодії науки, техніки, технологій і промислового виробництва.

ПРН-20. Здатність творчого підходу до вирішенні. проблем у нових або незнайомих середовищах за наявності неповної або обмеженої інформації з урахуванням аспектів соціальної та етичної відповідальності.

1.3. Міждисциплінарні зв'язки

Попередні – «Вища математика», «Фізика», «Технічні засоби теплотехнічного експерименту», «Технічна термодинаміка», «Системи перетворення теплової енергії», «Експериментальна теплофізика», «Методи дослідження теплофізичних властивостей складних термодинамічних систем», послідовні – «Науково-дослідна практика», «Фізико-хімічні проблеми перетворювачів енергії з КП».

1.4. Обсяг навчальної дисципліни в кредитах ЄКТС

Навчальна дисципліна викладається на 1 курсі у 2 семестрі для денної форми навчання
Кількість кредитів ECTS - 7, годин – 210

Аудиторні заняття, годин:	всього	лекції	лабораторні	практичні
денна	70	36	34	-
заочна				
Самостійна робота, годин	Денна – 140		Заочна –	

2. Зміст навчальної дисципліни

2.1. Програма змістовних модулів

Змістовий модуль 1: Методи дослідження термічних властивостей речовин.

№ тем и	Зміст теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	<i>Вступ. Значення експериментальних досліджень теплофізичних властивостей речовин для науки і техніки; взаємозв'язок науки і практики, експерименту і теорії; сучасні проблеми і тенденції розвитку теплофізичного експерименту; особливості експериментальної техніки і методів виміру теплофізичних властивостей речовин; впровадження комп'ютерної техніки і кібернетичних методів у практику теплофізичних досліджень; основні поняття й термінологія експериментальної теплофізики.</i>	4	
2.	<i>Дослідження P-T залежності при сублімації. Особливості фазового переходу. Діапазони зміну тиску і температури. Теоретичні основи експериментальних методів. Метод випару з відкритої поверхні (метод Ленгмюра): будова вимірювального осередку; способи виміру масової швидкості випару). Ефузійний метод (метод Кнудсена): будова вимірювального осередку; вимоги до конструкції ефузійних камер; інтегральний і диференціальний варіанти методу. Порівняння методів, їхні переваги і недоліки. Приклади експериментальних установок, виконаних за методами Ленгмюра і Кнудсена. Оцінка похибки експериментальних даних.</i>	4	
3.	<i>Дослідження P-T залежності при плавленні. Метод термограм (ТГ). Диференціальний термічний аналіз (ДТА). Метод запаяної ампули. Особливості застосування ТГ і ДТА при високих і низьких температурах. Дослідження алотропічних модифікацій рідких кристалів. Визначення P-T залежності при високих і надвисоких тисках.</i>	4	

4.	<i>Дослідження P-T-x-у залежності для розчинів. Класифікація методів дослідження фазових рівноваг. Дистиляційний метод. Циркуляційний метод. Метод потоку. Метод точок роси і кипіння. Вимоги до конструкції вимірювальних осередків і робочих режимів установок. Приклади експериментальних установок і їхній порівняльний аналіз.</i>	4	
5.	<i>Методи дослідження густини рідини і пари у широких діапазонах параметрів стану. Метод п'єзометра постійного об'єму: конструкції п'єзометрів; визначення об'єму при нормальних умовах; облік термічної і баричної деформації п'єзометрів; виключення й облік баластового об'єму (метод гарячого вентиля; застосування мембранних і сільфонних роздільників); методика проведення дослідів. Метод п'єзометра змінного об'єму: конструкції п'єзометра; конструкції п'єзометрів для різних фаз; способи фіксації та виміру об'єму. Визначення маси речовини в п'єзометрі: безпосереднє зважування; розширення до нормального тиску; виморожування; адсорбційний метод. Особливості проведення P-V-T експерименту при низьких і високих температурах та високих тисках. Гідростатичний метод при високих тисках. Порівняльний аналіз методів і установок.</i>	4	
6.	<i>Дослідження термічних властивостей речовин у навіколокритичній зоні. Особливості термодинамічного поведіння речовин у навіколокритичній зоні. Вплив флуктуацій, гідростатичного тиску, точності підтримки температури на похибку експерименту. Методи визначення критичних параметрів: експеримент по ізотермах; метод прямолінійного діаметра. Оптичні й акустичні методи: метод зникнення меніска; метод критичної опалесценції; метод аномального поглинання і розсіювання ультразвуку; метод світлорозсіювання. Обробка експериментальних даних, отриманих при дослідженні теплофізичних властивостей речовин у вузькому околі критичної точки. Стратегія наукового дослідження й емпірична перевірка гіпотез. Практичні аспекти використання критичного стану речовини.</i>	4	

Змістовий модуль 2: Методи дослідження калоричних властивостей і в'язкості речовин.

№ тем и	Зміст теми	Кількість годин	
		денна	заочна
7.	<i>Методи дослідження ізобарної, ізохорної теплоємності речовин. Метод безпосереднього нагрівання. Метод змішування і особливості його застосування для дослідження речовин у різних агрегатних станах. Метод потоки. Метод вибуху. Непрямі методи.</i>	2	
8.	<i>Методи дослідження процесів дроселювання. Дослідження ізотермічного дроселювання. Дослідження адіабатного дроселювання.</i>	2	

9.	<i>Методи дослідження теплоти фазових переходів. Експериментальні методи визначення теплоти плавлення: метод змішування; метод безпосереднього нагрівання. Експериментальні методи визначення теплоти пароутворення: метод безпосереднього виміру; конденсаційний метод.</i>	4	
10.	<i>Методи дослідження в'язкості речовин. Метод капилляра, метод падаючого груза, Абсолютний і відносний варіанти методів. Нестаціонарні методи визначення коефіцієнта в'язкості. Метод коливних дисків. Точність нестаціонарних методів, застосовність їх у широкому діапазоні параметрів</i>	4	
	Разом	36	

2.2. Перелік лабораторних робіт

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість годин	
		денна	заочна
1	<i>Визначення густини рідини методом гідростатичного зважування</i>	4	
2	<i>Визначення густини рідини у широкому інтервалі температур методом пікнометра</i>	4	
3	<i>Дослідження питомих об'ємів реальних газів</i>	4	
4	<i>Визначення в'язкості рідини методом витікання через капіляр</i>	4	
5	<i>Визначення в'язкості рідини методом падаючого вантажу</i>	4	
6	<i>Визначення в'язкості рідини ротаційним віскозиметром</i>	4	
7	<i>Визначення поверхневого натягу рідини методом капілярного підняття</i>	4	
8	<i>Визначення поверхневого натягу рідини методом максимального тиску в пухирці</i>	6	
	Всього	34	

2.3. Перелік завдань до самостійної роботи

№ п/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1.	<i>Опрацювання лекційного матеріалу</i>	20	
2.	<i>Підготовка до лабораторних</i>	20	
3	<i>Підготовка до практичних</i>	20	
4	<i>Опрацювання окремих розділів програми, які не виносяться на лекції</i>	40	
5	<i>Виконання індивідуальних навчально-дослідних завдань</i>	40	
	Всього	140	

3. Критерії оцінювання результатів навчання

Види контролю: поточний, підсумковий – *екзамен*

Нарахування балів за виконання змістового модуля

Вид роботи, що підлягає контролю	Оцінні бали		Форма навчання					
	min	max	Кільк. робіт, од-ць	денна		Кільк. робіт, од-ць	заочна	
				min	max		min	max
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Змістовий модуль 1: Методи дослідження фазових рівноваг чистих речовин і розчинів								
Робота на лекціях	2	3	6	12	18	–	–	–
Виконання лабораторних робіт	2	3	6	12	18	–	–	–
Опрацювання тем, не винесених на лекції	2	3	1	2	3	–	–	–
Підготовка до лабораторних / практичних занять	2	3	6	12	18	–	–	–
Виконання контрольних завдань	2	3	1	2	3			
Проміжна сума	–	–	–	40	60			
Модульний контроль	20	40	1	20	40	–	–	–
Рейтинг за творчі здобутки студентів	0	10		0	10	–	–	–
Оцінка за змістовий модуль 1	–	–	–	60	100	–	–	–
Змістовий модуль 2: Методи дослідження термодинамічних властивостей і поверхневого натягу								
Робота на лекціях	2	3	6	12	18	–	–	–
Виконання лабораторних робіт	2	3	6	12	18	–	–	–
Робота на практичних заняттях						–	–	–
Опрацювання тем, не винесених на лекції	2	3	1	2	3	–	–	–
Підготовка до лабораторних / практичних занять	2	3	6	12	18			
Виконання контрольних завдань	2	3	1	2	3			
Проміжна сума	–	–	–	40	60			
Модульний контроль	20	40	1	20	40			
Рейтинг за творчі здобутки студентів	0	10		0	10			
Оцінка за змістовий модуль 2	–	–	–	60	100			
Разом з дисципліни				60...100				

4. Інформаційні ресурси

Базові (основні):

1. Анісімов М.А. Критичні явища в рідинах та рідких кристалах. - М.: Наука, 1987. - 272 с.
2. Анісімов М.А., Рабінович В.А., Сичов В.В. Термодинаміка критичного

стану індивідуальних речовин і матеріалів -М: Вища школа, 1990. - 190 с.

3. Бошняк Л.П. Вимірювання при теплотехнічних дослідженнях. - Л.: Машинобудування, 1974. - 446 с.

4. Вимір маси, щільності, в'язкості / Под ред Ю.В. Тарбеєва.- М.: Изд-во стандартів, 1988.- 176 с.

5. Ківіліс С.С. Щільноміри. - М: Енергія, 1980. - 276 с.

6. Кирилін В.А., Сичов В.І., Шейндлін А.Є. Технічна термодинаміка. - М: Енергія, 1976. - 469 с.

7. Кирилін В.А., Шейндлін А.Є. Вивчення термодинамічних властивостей речовин. - М.: Держенерговидав, 1963. - 559 с.

8. Морс Ф. Теплофізика. - М.: Наука, 1968. - 416 с.

9. Низькотемпературна калориметрія. За ред С.А.Улыбіна.- М.: Мир, 1971.- 263 с.

10. Олійник І.В. Точна калориметрія. М: Наука, 1975.

11. Попов М.М. Термометрія і калориметрія.- М.: Изд-во МДУ, 1954. - 943 з.

12. Зубарев В.М., Александров А.А., Охотін В.С. Практикум з технічної термодинаміки Навч. посібник для вузів. - 3-тє вид., перероб. - М.: Вища школа, 1986. - 304 с.

13. Теорія та техніка теплофізичного експерименту. Учеб. посібник для вузів / Под ред. В.К.Щукіна.- М.: Вища школа, 1985.- 360 с.

14. Хала Е., Пік П., Фрід В., Вілім О. Рівновага між рідиною і паром.- М.: ІЛ, 1962. - 437 с.

15. Хеммінгер В., Хене Г. Калориметрія: теорія та практика. - М: Хімія, 1989. - 176 с.

16. Цикліс Д.С. Фізико-хімічні дослідження при високих та надвисоких тисках. - М: Хімія, 1976. - 431 с.

17. Шпільрайн Е.Е., Кессельман П.М. Основи теорії теплофізичних властивостей речовин. - М: Енергія, 1977. - 247 с.

18. Желєзний В.П., Семенюк Ю.В. Експериментальна теплофізика. Методи дослідження термодинамічних властивостей речовин: Навчальний посібник. - Одеса: Видавництво ОДАХ, 2008. -189 с.

19. Голубев І.Ф., Агаєв Н. В'язкість граничних вуглеводнів, 1964.

20. Голубев І.Ф., Гнезділов Н.Є. В'язкість газових сумішей. - М.: Вид-во стандартів, 1971. - 326 с.

Допоміжна

1. Адам Н.К. Фізика та хімія поверхонь. - М.: ОГІЗ, 1974. - 552 с.

2. Адамсон А. Фізична хімія поверхонь. - М.: Світ, 1979.

3. Іоффе Б.В. Рефрактометричні методи хімії. - Л.: Держхіміздат, 1960. - 382 с.

4. Сергєєв О.А. Метрологічні засади теплофізичних вимірів. - М: Вид-во стандартів, 1972. - 154 с.

5. Фізика простих рідин. Експериментальні дослідження. За ред. О.З. Голіка. - М: Мир, 1973. - 400 с.

6. Шенк Х. Теорія інженерного експерименту. - М.: Світ, 1972. - 381 с.

7. Груздев В.А., Шумська А.І. Експериментальне дослідження ізобарної теплоємності парів фреонів: Ф-12, Ф-11, Ф-13, Ф-21, Ф-22, Ф-23. // Зб. ДССДД №8. – С. 108-114.

8. Розповідей Д.Г., Крюков П.А. Експериментальне дослідження ізотермічного дросель-ефекту Ф-23 // Зб. ДССДД № 8. – С. 84-99.

9. Курилёнок К.В. Дослідження роботи випаровування пароводню та аргону. // Зб. ДССДД №7. – С. 13-17.

10. Рабінович В.А., Олійник-Дзядік О.М. Експериментальна установка для визначення C_v рідин та газів у широкому діапазоні параметрів стану. // Зб. ДССД № 2. – С. 22-26.

11. Геллер В.З. Дослідження теплофізичних властивостей Ф-113. // Зб. ДССДД № 7. - С. 135-155.